

基于图像处理的自动调焦算法的探讨

许静玲 厦门大学机电工程系 361005

摘要: 本文阐述了自动调焦的原理和方法, 探讨了基于图像处理的自动调焦的算法, 列举了几种常用的调焦判据函数, 总结了自动调焦判据函数的选取方法。

关键词: 自动调焦 图像处理法 调焦判据函数

从二十世纪九十年代起, 自动调焦技术已广泛应用于航天、医学、工业机器人视觉、军事及各种精密测量及高精度投影仪器等领域, 已发展成集光、机、电、算于一体的复杂技术。

1. 自动调焦原理及方法

自动调焦是沿光轴方向改变物面 (或镜头) 的位置, 使得物像关系满足高斯公式以快速地获取清晰的图像。自动调焦方法, 按照离焦信号的检测原理大致可分为直接调焦和间接调焦两类。间接调焦是把物镜的理想成像位置作为参考面, 用各种传感器检测像面或物面相对位置相对于参考面偏离信息进行调整, 是一种被动的调焦方式, 不用涉及成像清晰度评价。被动调焦可以分为气动式、测距式、斜光束式、偏心率式、电容测量式。直接调焦是由于光学系统在理想像面上像质边缘的对比度最大, 通过直接检测边缘的光强分布, 来获取离焦信息, 直接进行调焦, 是一种积极主动的调焦方式。直接调焦可以分为图像处理和图像扫描两类。图像处理法是一种较理想的自动调焦方法。

2. 图像处理法的自动调焦判据函数

一副图像是否聚焦, 反映在空域上是图像的边界及细节部份是否清晰, 在频域上则是图像的高频分量是否丰富。自动调焦过程中, 计算机要判断是否到达一个最准确的状态, 这有一个算法规则, 这一规则在图像处理中就称为调焦状态判据函数, 简称为调焦判据函数。常见的调焦判据函数可归纳为频域函数、灰度函数、信息学函数和统计学函数四类。

2.1 频域函数

频域函数是以傅立叶变换为基础的, 高清晰度的图像的主要特征是具有清晰的边缘和图像细节的复现性, 它对应于图像傅立叶变换后的高频分量。离焦退化造成的图像模糊在频域上体现为高频分量的衰减。因此, 可以用图像的高频分量作为自动调焦的判据函数。如高频分量法^[2], 表达为:

$$F(N/2) = \frac{\sum_{i=1}^{N/2} P_{i,j} - \sum_{i=1}^{N/2} P_{i,j+1}}{\sum_{i=1}^{N/2} P_i} \quad (1)$$

其中: $F(N/2)$ 为自动调焦判据函数, N 表示象元的数目, P_i 表示第 i 个象元的灰度值。

2.2 灰度函数

灰度函数主要利用对图像灰度的各种处理方法来表征图像的清晰度。当正确调焦时, 灰度函数值最大。基于图像微分的平方梯度函数大都属于此类函数。常见的公式有:

2.2.1 梯度平方函数^[3]

$$f(I) = \sum_x \sum_y [I(x+1, y) - I(x, y)]^2 + [I(x, y+1) - I(x, y)]^2 \quad (2)$$

其中 $I(x, y)$ 表示象元 (x, y) 的灰度值

2.2.2 Variance 函数^[4], 是一种很简单又很常用的调焦判据函数。

$$f(I) = \sum_x \sum_y [I(x, y) - u]^2 \quad (3)$$

$$u = \frac{1}{N^2} \sum_x \sum_y I(x, y) \quad (4)$$

其中 $I(x, y)$ 表示象元 (x, y) 的灰度值, u 是灰度值的平均值。

2.2.3 灰度差分法^[5] 这是一个形式简单但有效的调焦判据函数。它是利用图像的相邻像素的差的绝对值作为焦距评价函数。当图像聚焦时函数取最大值。公式表示为:

$$f(I) = \sum_x \sum_y \{ |f_x(x, y) - f_x(x, y-1)| + |f_y(x, y) - f_y(x-1, y)| \} \quad (5)$$

2.2.4 阈值积分法^[1] 根据图像的灰度分布, 选取一个阈值, 并对大于阈值的灰度进行求和, 其最大值作为图像的调焦判据。调焦精度不高。

$$\Phi = \sum_j (d_j - \Psi) \quad \text{其中 } d_j > \Psi \quad (6)$$

为图像在第 i, j 像素点灰度分布值, Ψ 为图像灰度阈值。

2.3 信息学函数

正焦图像与离焦图像相比, 其灰度值的多样性要大, 即它们的信息含量或熵不一样。图像趋于离焦时, 图像的灰度值趋于单一灰度, 信息含量少, 所以可利用图像的信息熵作为自动调焦的评价函数。如最大熵函数^[6,7], 其算法是:

$$H = - \sum_{i=1}^{N^2} \left(\frac{H_i}{N^2} \right) \log \left(\frac{H_i}{N^2} \right) \quad (7) \quad \text{为灰度为 } i \text{ 的}$$

像素数, N^2 为一副图像总的像素数。

2.4 统计学函数

完全离焦的图像是由单一灰度值组成, 正焦图像则因为包含了清晰图像信息, 表现为多灰度值分布, 这一特性可用直方图来表示。如 Range^[8] 函数表征了直方图中带大小的变化范围, 表达为:

$$F = \max(kH_k > 0) - \min(kH_k > 0) \quad (8)$$

F 值越大, 说明图像的细节越丰富, 图像的质量越好。

3. 调焦判据函数的选取

理想的调焦函数应具有无偏性、单峰性, 能反映离焦的极性, 同时具有足够的信噪比。高频分量法计算量较大, 不太适用于实时自动调焦; 阈值积分法调焦精度不高; 灰度差分法由于利用了图像的边缘增强处理, 使焦距评价函数的特征曲线函数更加陡峭, 提高了聚焦准确程度, 能实现快速、实时、有效测量; Variance 函数曲线的平滑性好, 抗干扰能力强; 适用于大范围调

焦; 平方梯度函数具有较窄的顶部宽度, 适用于小范围精调焦。熵函数法特别适用于对边缘边界过渡很明显的图像。

为了兼顾调焦范围、调焦准确性、调焦速度这几个要求, 一般将调焦分为两步, 先用波峰较宽较缓的调焦函数以较大步距快速搜索到最佳物面附近, 再用波峰较窄的调焦函数以较小步距慢速搜索到最佳物面。也就是将调焦分为粗调和精调两步。可选取 Variance 函数粗调配合平方梯度函数精调^[1,4] 也可在粗调阶段采用图像标准差函数, 在精调时采用最大熵函数^[6], 还可选取绝对方差函数进行粗调评估, 而采用修正平方梯度函数作为精调评价函数^[8]。

4. 小结

图像处理自动调焦技术中的关键问题在于图像清晰度判据函数的选取。同时调焦判据函数不是唯一的, 应根据被测对象的实际情况选择适当的自动调焦判据函数。为了同时实现大范围内、快速、准确自动调焦, 常采用粗调函数结合精调函数的方法。

参考文献:

- [1] 李庆祥. 现代精密仪器设计 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004
- [2] Aly A. FaFag, Yu Cao, Integrating a Priori Information in Edge Linking Algorithms [J]. SPIE Vol.1700, 1992: 380-394
- [3] TTE Yeo, S H Ong, Jayasooriah and R Sinniah, Autofocusing for Tissue Microscopes [J]. Image and Vision Computing, Vol.11 No.10 December 1993: 629-639
- [4] H. Harms and H.M.Aus, Comparison of Digital Focus Criteria for a TV Microscope System [J]. Cytometry, 5, 1984: 236-243
- [5] 任四刚, 李见为, 谢利利 基于灰度差分法的自动调焦技术 [J]. 光电工程, 2003, 30 (2): 53-55
- [6] 查凯, 任锐, 李志全. 三维形貌测量中自动调焦系统的设计 2004, 31 (3): 56-59
- [7] 白磊. CCD 显微测量系统自动调焦技术的研究 哈尔滨工业大学硕士学位论文 2002.7
- [8] 白立芬等 基于图像处理的显微镜自动调焦方法研究 [J]. 仪器仪表学报 1999, 20 (6): 612-614
- [9] Lawrence Flirstone, Kitty Cook, Kevin Culp, Neil Talamia, and Kendall Preston, Jr. Comparison of Focus Methods for Automated Microscopy [J]. Cytometry, 12, 1991: 195-206